

# USO DE VISCOSIDADE TURBULENTA CONSTANTE NA PREDIÇÃO NUMÉRICA DO ASSOREAMENTO NUMA ARMADILHA.

STÊNIO DE SOUSA VENÂNCIO<sup>1</sup>; JOSÉ LUÍS DA SILVA PINHO<sup>2</sup>; JOSÉ MANUEL PEREIRA VIEIRA<sup>3</sup> E LUIZ FERNANDO RESENDE DOS SANTOS ANJO<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Doutor e Professor Adjunto; Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal do Triângulo Mineiro; Av. Doutor Randolpho Borges Junior n.1250, Univerdecidade, 38064-200 Uberaba, Brasil; stenio@civil.ufbm.edu.br, Telefone: +055 34 3318-5600.

<sup>2</sup> Doutor e Professor Auxiliar; Departamento de Engenharia Civil - Universidade do Minho; Campus de Gualtar 4704-553 Braga, Portugal; jpinho@civil.uminho.pt, Telefone: +351 253604720.

<sup>3</sup> Doutor e Professor Catedrático; Departamento de Engenharia Civil - Universidade do Minho; Campus de Gualtar 4704-553 Braga, Portugal; jvieira@civil.uminho.pt, Telefone: +351 253604722.

<sup>4</sup> Doutor e Professor Adjunto; Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal do Triângulo Mineiro; Av. Doutor Randolpho Borges Junior n.1250, Univerdecidade, 38064-200 Uberaba, Brasil; luizfernando@reitoria.ufbm.edu.br, Telefone: +055 34 3331-6204.

## RESUMO

A capacidade de prever taxas de sedimentação e sua distribuição não uniforme em rios e reservatórios é tarefa não trivial, sendo importante tanto na fase de concepção de estudos e projetos como para a gestão ambiental sustentável destes sistemas. A associação de ferramenta computacional para o estudo do transporte sedimentar representa um ganho de tempo, e também monetário, permitindo diagnosticar e prognosticar cenários, antecipando medidas de intervenção programadas. Considerando a aplicação intensiva da dinâmica de fluidos computacional nos estudos morfodinâmicos em sistemas reais, com o uso do conceito de águas pouco profundas, este trabalho avalia numericamente o assoreamento inicial em uma armadilha de sedimentos construída em laboratório, com a utilização de viscosidade turbulenta constante. Emprega o código Delft3D, desenvolvido pela WL-Delft Hydraulics, instituto de pesquisa da Holanda. O modelo hidráulico tem como base as equações de Navier-Stokes, permitindo análises em duas ou três dimensões por incorporar modelos de turbulência. O módulo de transporte de sedimentos tem como base a equação de advecção-difusão, além de contar com as equações semi-empíricas consagradas na literatura. O escoamento hidrodinâmico simulado foi calibrado para as velocidades de água medidas em regiões específicas da armadilha, com o uso de velocimetria a laser. A simulação do assoreamento foi iniciada a partir da calibração hidrodinâmica, configurada para os dados conhecidos do sedimento utilizado. Os resultados obtidos apresentaram boa concordância entre o assoreamento medido e simulado de curto período. A extensão do período simulado apontou para uma divergência entre os padrões de deposição.

**Palavras-chave:** simulação numérica; assoreamento; armadilha de sedimentos.

**Tema:** 6.

## 1 INTRODUÇÃO

Rios e reservatórios possuem características e capacidades próprias de transporte de sedimentos. A sustentabilidade destes ambientes requer gestão eficiente, para a qual se pode contar com o suporte de códigos numéricos na simulação de cenários, permitindo diagnósticos e prognósticos. Contudo, a confiança nas respostas dadas por um modelo requer trabalho de calibração intenso para o qual, muitas vezes, não ocorre disponibilidade suficiente de dados de campo. Do lado dos códigos numéricos, o conceito de águas pouco profundas (profundidade muito menor que desenvolvimento nas direções horizontais) viabiliza a utilização de simulações bidimensionais. Nestas, o efeito das flutuações de velocidade podem ser simplificadas através da consideração simplificada do processo de turbulência assumindo-se viscosidade turbulenta constante. Dentro desta realidade, apesar do uso de modelos, em escala de laboratório, visando investigar processos de corrente em águas pouco profundas serem restritos (baixos números de Reynolds e números de Froude elevados), a sua aplicação tem sido útil para o entendimento dos padrões de escoamento, e consequente transporte de sedimentos, e da sensibilidade das variáveis envolvidas na calibração.

De interesse particular deste trabalho, a modelagem numérica tem crescido substancialmente e se tornado ferramenta importante no estudo de escoamentos de fluidos, apoiada pelo avanço da capacidade dos computadores e das técnicas numéricas para solução de equações. Como os reais parâmetros do problema estudado (dimensões do reservatório, propriedades do fluido, do escoamento e dos sedimentos, etc.) são introduzidos nessa modelagem, a distorção de escala inexiste. Em contrapartida, o escoamento de um fluido carregado de sedimentos envolve um número elevado de variáveis que, por sua vez, ou são contempladas pelos modelos de maneira simplificada ou não são envolvidas no processo de análise. Devido às hipóteses simplificadoras dos modelos surge a necessidade de calibração através de dados obtidos a partir do próprio fenômeno real estudado ou de um modelo físico que o represente. Neste sentido, apesar de ter havido um aumento substancial em aplicações numéricas voltadas para a hidráulica ambiental, boa parte está relacionada a projetos de engenharia que não vislumbram aspecto de calibração e validação.

No Brasil, as medições diretas de descarga de sedimentos em rios e reservatórios ainda são raras, como também são os levantamentos batimétricos periódicos, necessários à obtenção da distribuição espacial dos sedimentos depositados e sua evolução no tempo. Essa falta de dados de campo dificulta, e por muitas vezes impossibilita, tanto ao processo de avaliação das capacidades reais do modelo, para representar o fenômeno, quanto ao conhecimento das reais condições dos sistemas hídricos. Isto faz com que, por exemplo, reservatórios sejam operados como se seu volume útil fosse ainda aquele referente ao início de sua operação. Pela falta de acompanhamento da redução do volume dos reservatórios, não apenas reservatórios isolados são operados de forma ineficiente, mas redes de reservatórios são gerenciadas sem otimização. Deste modo, é preciso destacar a importância do desenvolvimento de trabalhos experimentais morfodinâmicos, associados aos modelos numéricos, como suporte ao entendimento do fenômeno real.

O trabalho de Wu et al. (2000) apresentou um modelo numérico em três dimensões para cálculo de escoamento e transporte de sedimentos em um canal de laboratório em forma de U, com modelo  $k-\varepsilon$  de turbulência e discretização das equações por método de volumes finitos. O trabalho defendeu a necessidade da simulação em 3D, para a captação dos

escoamentos secundários na reprodução de escoamentos reais, negligenciada pelas simulações 1D e 2D, maioria nessa linha de pesquisa.

Em Guo e Jin (2002) é apresentado um modelo, por eles desenvolvido, para o cálculo do transporte de sedimentos em suspensão, com vários diâmetros de sedimento, mais condizente com a realidade. A maior parte dos trabalhos têm apresentado simulações para um diâmetro médio de sedimento, o  $d_{50}$ . Foi aplicado aos experimentos conduzidos por Van Rijn, 1986, do *Delft Hydraulic Laboratory*, em um canal de 30 m de comprimento, 0,5m de largura e 0,7 m de profundidade, escoamento com velocidade igual a 0,51 m/s e profundidade de 0,39 m. O sedimento utilizado foi areia fina com  $d_{50} = 0,16$  mm e velocidade de queda 0,013 m/s, a 15°C de temperatura. A simulação usou malha com diferentes tamanhos de célula, variando de 0,2 m a 0,4 m na direção do escoamento e de 0,03 m e 0,05 m na direção transversal. A atualização do fundo (batimetria) foi feita a cada 15 min de tempo computacional. Segundo os autores, os resultados comparativos evidenciaram a boa capacidade do modelo em simular variações de fundo em canais.

Sloff et al. (2004) apresentaram um modelo bidimensional para estudo de morfologia fluvial, denominado Delft3D, desenvolvido por WL-Delft Hydraulics, aplicado ao reservatório Senbiri no rio Toshibetsu, em Hokkaido, região do Japão. Simulações foram realizadas para comparação, separadamente, com os dados de campo e aqueles obtidos em modelo físico reduzido. Estudou-se a formação de canal no interior do reservatório, durante a erosão que ocorre em épocas de cheia e aumento da vazão de água. O trabalho teve como objetivo investigar as causas da formação do canal, por erosão, no lado esquerdo do reservatório, apesar da localização da saída de água na barragem do lado direito. O trabalho focou a localização da formação do canal e não suas dimensões.

Kantoush et al. (2008) modelaram numericamente o assoreamento experimental verificado em um reservatório retangular raso, também em laboratório. O código numérico CCH2D, desenvolvido pela NCCHE (National Center Hydroscience and Engineering), foi utilizado para o cálculo hidrodinâmico e sedimentar. O padrão de velocidade experimental no reservatório foi obtido pelo uso de UVP (Ultrasonic Doppler Velocity Profiler) e LSPIV (Large-Scale Particle Velocimetry). Já a morfologia do leito foi medida por um mini ecobatímetro (Ultralab UWS). O sedimento experimental utilizado foi casca de nozes triturada, com  $d_{50} = 0,05$  mm e densidade absoluta de 1.500 kg/m<sup>3</sup>. Devido ao padrão de fluxo assimétrico verificado, a melhor correlação dos resultados medidos e simulados aconteceu para o uso do modelo de viscosidade turbulenta parabólica.

Sun et al. (2015) avaliaram o efeito da triagem de grãos de sedimentos sobre o processo morfodinâmico através do uso de um modelo experimental de rio trançado, concebido em laboratório, e também de resultados numéricos calculados pelo modelo por eles desenvolvidos. Este modelo utiliza as equações de Saint-Venant 2D, para o módulo hidrodinâmico, e a equação de advecção-difusão e de Rijn, para o transporte de sedimentos em suspensão e de fundo, respectivamente, tendo a areia como material utilizado. A comparação entre os resultados experimentais e numéricos permitiram aos autores concluir sobre a importância da característica granulométrica para o perfil morfológico de rios trançados, além da capacidade do modelo numérico desenvolvido para bem representar o fenômeno.

É notório a percepção das variações e dificuldades encontradas na modelagem numérica do fenômeno de assoreamento real, mesmo em âmbito de laboratório, ultrapassando a questão de escala inicialmente aposta. Assim, para um mesmo código numérico, diferentes

resultados podem ser obtidos, para uma mesma configuração de escoamento e tipo de sedimento. No que tange aos modelos numéricos, a revisão de suas capacidades e performance são discutidas, como por exemplo em ASCE (1998).

Este trabalho aplica um modelo que avalia numericamente a resposta inicial do assoreamento obtido em uma armadilha de sedimentos construída em laboratório, com o uso do código Delft3D, assumindo-se viscosidade turbulenta constante. Representa a etapa inicial do estudo que pretende analisar e discutir as respostas da morfodinâmica simulada em duas e três dimensões em comparação com o assoreamento experimental.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Etapa Experimental

A armadilha de sedimentos construída no laboratório de hidráulica ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, tem seus detalhes construtivos apresentados em Souza et al (2005), que descreve também a análise do escoamento com o uso de velocimetria a laser PIV (*Particle Image Velocimetry*), para a determinação do padrão hidrodinâmico experimental.

Por oportuno, para caracterizar esta etapa, é apresentado o texto descrito em Souza et. al. (2006). A análise da hidrodinâmica foi feita com escoamento apenas de água, sem sedimento, permitindo validar a simulação do escoamento em regime permanente na armadilha, anterior ao início da simulação do assoreamento. Com paredes e fundo em acrílico, a deposição de sedimento pôde ser registrada através de fotografias tiradas de diferentes ângulos, ao longo do processo de assoreamento. Permitiu-se também o uso do equipamento de velocimetria a laser, para o qual paredes e fundo transparentes são necessários na obtenção de campos de velocidade instantânea, caracterizados em 15 regiões da armadilha com a determinação do padrão médio do escoamento. Uma vista geral da armadilha em operação é apresentada na Figura 1 a seguir.



**Figura 1.** Armadilha de sedimentos (3m x 1,5m), canal (2m x 0,15m) descarregador (0,45m de largura e soleira à 0,10m do fundo), em acrílico. (Souza et al., 2005)

Apesar da estrutura da armadilha contar com dois canais de abastecimento em acrílico, apenas o destacado na figura anterior foi utilizado. O sistema de alimentação de areia (material usado como sedimento), com reservatório elevado e um sistema de transporte com ar comprimido até o canal, forneceu descarga consideravelmente constante. Nota-se que o equipamento construído representa um reservatório de água abastecido por dois rios e tem por função permitir um trabalho experimental que auxilie na pesquisa do assoreamento de reservatórios. Não se estuda neste caso nenhum reservatório real em particular, cuja geometria se assemelhe àquela da armadilha e justifique a denominação desta de modelo reduzido. O assoreamento experimental foi iniciado após 30 min de escoamento apenas de água, para estabelecimento do regime permanente, com vazão igual a 0,002 m<sup>3</sup>/s no canal. A descarga de areia com d<sub>50</sub> igual a 0,12 mm foi definida em 2 g/s (encontrada em rios naturais), o que representou uma concentração média de 1 kg/m<sup>3</sup> na extremidade de montante do canal, local de lançamento. O período de tempo total do experimento sedimentar foi de 72 horas.

## 2.1 Simulação numérica

Para a simulação numérica foi utilizado o código Delft3D, desenvolvido pela WL-Delft Hydraulics, instituto de pesquisa da Holanda. É composto por um conjunto de programas com capacidade para simular correntes de marés, oceanos, regiões costeiras, estuários, reservatórios e rios (Delft3D-Flow, 2011). O módulo hidrodinâmico do modelo se baseia nas equações de continuidade (equação 1) e de momento (equações 2 e 3), aproximadas por diferenças finitas. Utiliza o conceito de águas pouco profundas de Boussinesq sendo acopladas equações de modelos de turbulência fechados para o tratamento das flutuações de velocidade. Desta forma a resolução das equações conduz para resultados temporais de velocidades e níveis de água sobre o domínio espacial. Na forma bidimensional, utilizada neste trabalho, as equações hidrodinâmicas podem ser escritas segundo Xie et al. (2013).

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial n}{\partial x} - fv + \frac{guU}{C^2(d+n)} - v_w \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial n}{\partial y} - fu + \frac{gvU}{C^2(d+n)} - v_w \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (3)$$

onde  $C$  é o coeficiente de rugosidade de Chézy (m<sup>1/2</sup>/s);  $d$  é a profundidade medida a partir do nível de referência;  $n$  é o nível da água (m);  $U$  é o módulo da velocidade de escoamento (m/s),  $U = \sqrt{u^2 + v^2}$ ,  $u$  e  $v$  são as componentes de velocidade nas direções  $x$  e  $y$  respectivamente (m/s);  $g$  é a aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>);  $v_w$  é o coeficiente de difusão turbulenta (m<sup>2</sup>/s);  $h = d + n$  é a profundidade da água (m);  $f$  é o parâmetro de Coriolis (1/s).

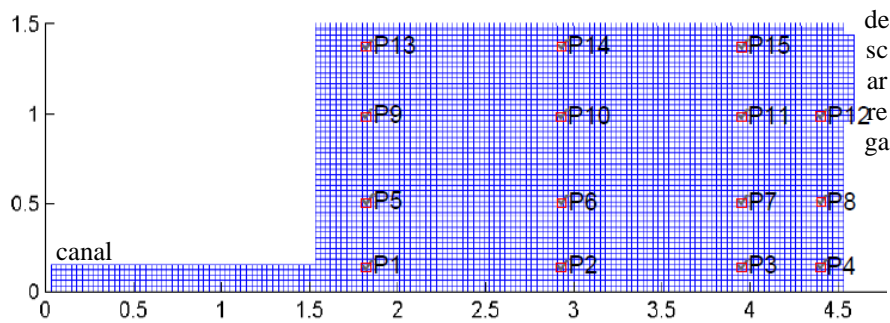
Para a solução da morfodinâmica, o transporte de sedimentos no modelo se baseia na equação de advecção-difusão (4), também escrita em Xie et al. (2013), além de contar com

um conjunto de equações semi-empíricas para o cálculo do transporte de fundo e suspenso. As equações hidrodinâmicas e morfodinâmicas podem ser formuladas em coordenadas esféricas, ortogonais curvilíneas e retangulares.

$$\frac{\partial hc}{\partial t} + \frac{\partial uhc}{\partial x} + \frac{\partial vhc}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( h \varepsilon_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( h \varepsilon_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) = E - D \quad (4)$$

onde  $c$  é a concentração de sedimentos em suspensão ( $\text{Kg/m}^3$ );  $\varepsilon_x$  e  $\varepsilon_y$  são os coeficientes de dispersão nas direções  $x$  e  $y$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ );  $E, D$  representam fluxos de erosão e deposição, respectivamente, no leito ( $\text{Kg/m}^2.\text{s}$ ). Os fluxos de erosão e deposição, podem ser calculados segundo a formulação de Ariathurai-Partheniades (Partheniades, 1965 ; Ariathurai, 1974), para sedimentos coesivos, e pela aplicação do método de Rijn (1993), para sedimentos não coesivos.

A malha computacional gerada para a simulação na armadilha, como mostra a Figura 2, é ortogonal com células de lado 0,03 m. As 15 regiões analisadas na etapa experimental são sobrepostas na mesma.



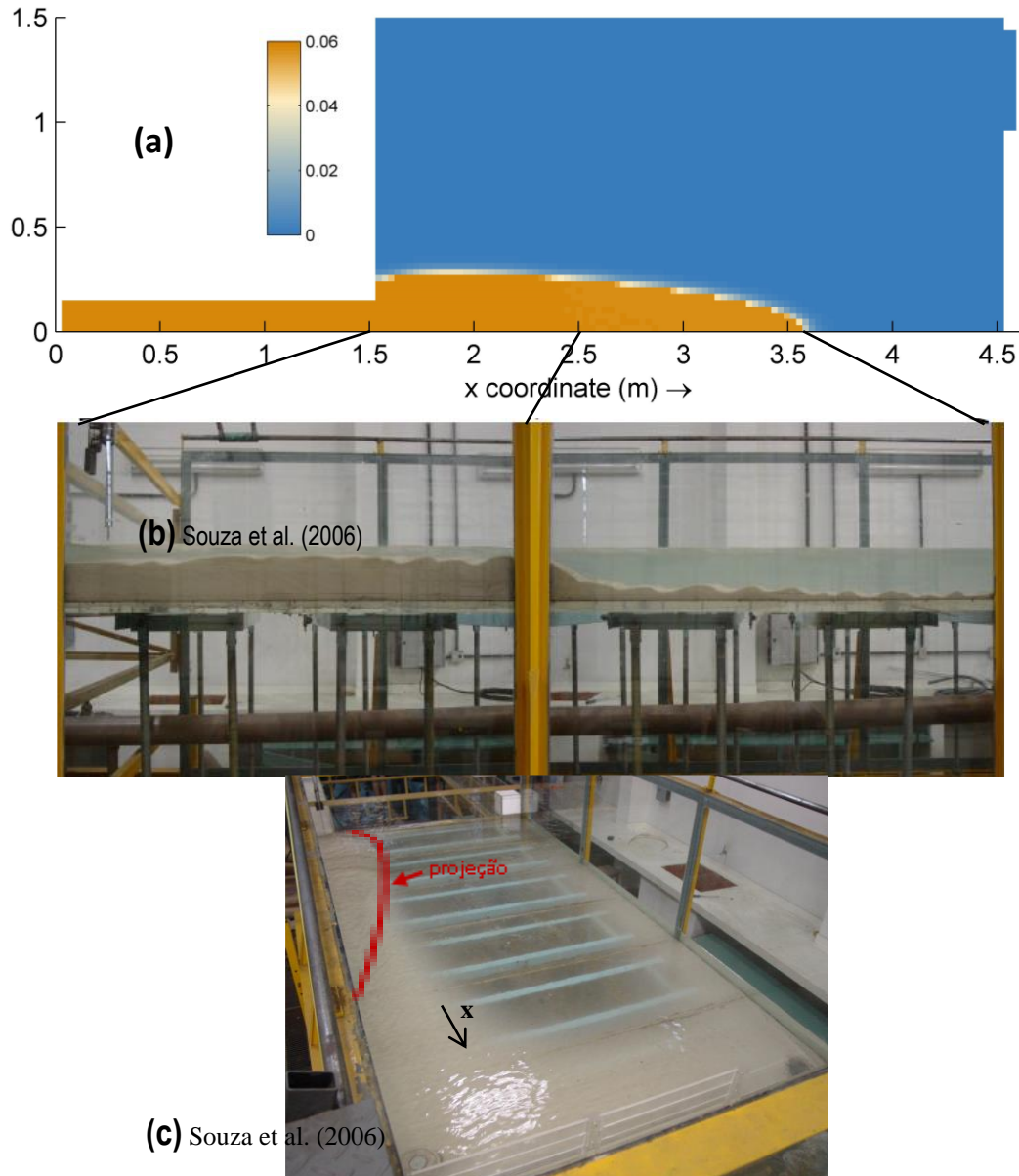
**Figura 2.** Malha computacional ortogonal com as 15 regiões de análise de velocidade

A simulação seguiu aos parâmetros experimentais, tendo vazão no canal de entrada constante e altura de água sobre a soleira no descarregador de saída igual a 0,013 m, também constante. Para o sedimento, a densidade aparente seca utilizada foi de  $1760 \text{ Kg/m}^3$ , disponibilizada pelo fornecedor da areia através de ensaio granulométrico. O cálculo da morfodinâmica iniciou-se para a condição de equilíbrio hidrodinâmico na armadilha mediante calibração dos parâmetros de resistência (Manning) e de turbulência (viscosidade turbulenta). Na simulação apenas da hidrodinâmica o coeficiente de Manning variou entre  $0,008 \text{ m}^{-1/3}.\text{s}$  e  $0,01 \text{ m}^{-1/3}.\text{s}$  (correspondente a superfície acrílica), enquanto para a modelagem do transporte de sedimentos o valor adotado foi de  $0,02 \text{ m}^{-1/3}.\text{s}$  (Souza et al. 2006). O passo de tempo adotado foi de 1,2 s (coerente com as dimensões da malha) e o período simulado de 20 horas. A equação semi-empírica de transporte de sedimento adotada (Van Rijn, 1993) se adequa às características da areia utilizada.

### 3 RESULTADOS

Na configuração hidrodinâmica existe predomínio de transporte advectivo com recirculação anti-horária. A calibração obteve a melhor correlação de velocidades na armadilha ( $R^2 = 0,9261$ ), para viscosidade turbulenta constante de  $0,001 \text{ m}^2/\text{s}$  e coeficiente de Manning de

$0,01 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ . Para a mesma configuração, mas com apenas a região central da armadilha, o índice de correlação foi 0,9715, o que denota a influência do efeito da parede sobre o escoamento. A comparação entre forma, extensão e altura do assoreamento experimental e simulado ocorreu para os instantes: 5 horas, 10 horas, 15 horas e 20 horas. Na Figura 3a é apresentado o padrão do assoreamento simulado, e nas Figuras 3b e 3c o correspondente resultado experimental, todas para o instante 10 horas.



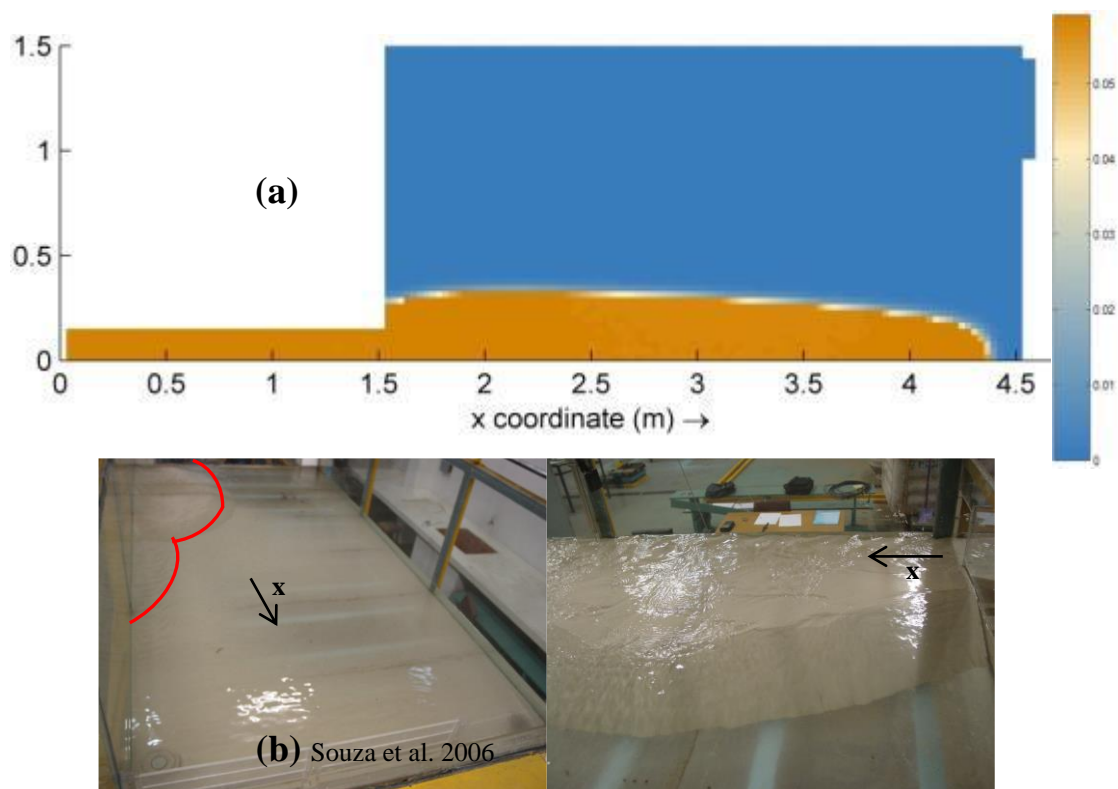
**Figura 3.** Instante 10 horas com vista em planta do assoreamento simulado, escala de cores vertical em metros (a); vista lateral do assoreamento na experiência (b); vista em planta do assoreamento na experiência (c).

O assoreamento formado, para simulação e experimento, tem topo relativamente plano, apresentando taludes na direção transversal (eixo y) e longitudinal (eixo x). A elevação de fundo média registrada, entre 1,5 m e 2,5 m, na direção x, foi de 0,075 m e 0,06 m, para experiência e simulação, respectivamente. Entre os marcos 2,5 m e 3,5 m, também na



direção x, forma-se um talude e pequenas dunas no experimento, com altura média de deposição de 0,03 m, sendo verificado apenas talude regular na simulação com altura média de deposição de 0,045 m. Percebe-se também, na Fig.3c, formação de película de areia, no entorno da armadilha, com espessura desprezível. Esta característica não é observada na simulação devido às simplificações consideradas no modelo numérico e por não significar importância do ponto de vista de elevação do fundo. Contudo, esta característica impacta na resistência ao escoamento e deverá ser avaliada para o padrão final do assoreamento na armadilha.

O desenvolvimento do assoreamento no experimento, na direção y, é modesto nas primeiras 10 horas, e o padrão registrado se equivale ao simulado, corroborando a calibração hidrodinâmica prévia. Contudo, com o avanço da simulação foi possível verificar que com o aumento da altura de sedimentos na entrada da armadilha, no experimento, o processo de deposição na direção y foi intensificado e não acompanhado, na devida proporção de escala, pela simulação. Assim, com 20 horas de simulação, foi evidenciado um padrão de forma diferente entre assoreamento simulado e experimental, como apresentado na Figura 5. O avanço da deposição simulada na armadilha acabou sendo mais expressivo ao longo do seu comprimento, continuando a seguir o padrão hidrodinâmico inicial e, portanto, divergindo do resultado experimental em forma e altura.



**Figura 5.** Instante 20 horas com vista em planta do assoreamento simulado, escala vertical em cores, em metros (a); vista em planta do assoreamento no experimento (b).

Este fato reflete a importância dos fatores velocidade de corrente, pela redução da seção transversal, aumento da resistência ao escoamento e também da intensidade turbulenta. Com uma maior altura do assoreamento na entrada, a divergência encontrada entre padrão de deposição no experimento e na simulação, aponta para um



redirecionamento de fluxo maior na primeira. A alta difusão de quantidade de movimento, diretamente relacionada à viscosidade turbulenta, fez com que o escoamento médio se comportasse como o de um fluido muito viscoso. Houve então divergência das linhas de corrente na entrada da armadilha e a areia, transportada preponderantemente por advecção, passa a formar um assoreamento distribuído, com formato regular e arredondado.

### **3 CONCLUSÕES**

Este trabalho mostra a calibração inicial do assoreamento simulado em uma armadilha de sedimentos, avaliando a resposta obtida entre simulação e experimento, para curto período, com o uso de viscosidade turbulenta constante.

Os resultados obtidos mostraram que apesar de se ter utilizado um valor constante para a viscosidade turbulenta, este modo simplificado de considerar o efeito da turbulência, no transporte sedimentar, pode representar uma boa alternativa na predição da localização do assoreamento e do padrão médio de deposição. A calibração apontou para uma sensibilidade considerável para o coeficiente de viscosidade turbulenta e pequena variação nos resultados para variações impostas ao coeficiente de Manning. Para tanto, o uso de uma viscosidade turbulenta constante maior, na simulação, poderia ser mais indicada após o período de 10 horas, o que deve ser analisado. Em rios e reservatórios reais este fato tem importância em alguns estudos onde o assoreamento se aproxima do nível de água de superfície. A divergência numérica encontrada na elevação do fundo, entre experimento e simulação, pode estar associada, além da variação da resistência ao escoamento e padrão de turbulência, ao modelo de transporte de sedimentos e ao efeito da parede (não considerado pelo código numérico). Ressalta-se, para tanto, que o efeito parede em rios e reservatórios reais não interfere de maneira significativa nos resultados da simulação, devido à natureza de escala. Sugere-se, para tanto, que a calibração inicial seja estendida e avaliada para o padrão final de assoreamento na armadilha, período este de 72 horas da etapa experimental. Após este processo propõe-se também a modelagem numérica do mesmo fenômeno com a aplicação de simulação tridimensional para efeitos comparativo e conclusivo.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Prof. Dr. Leonardo Barra Santana de Sousa pela disponibilização dos dados experimentais da armadilha de sedimentos e ao CNPq pela bolsa (Processo 200016/2014-8) de pós-doutoramento concedida ao 1º autor.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Ariathurai C. R. (1974). A finite element model for sediment transport in estuaries. Ph.D. Thesis, University of California, Davis.

ASCE – American Society of Civil Engineering (1998). River width Adjustment II: Modeling, by the ASCE Task Committee on Hydraulics, Bank Mechanics, and Modeling of River Width Adjustment. Journal of Hydraulic Engineering 124 (9), pp.903-917.

Delft3D-FLOW (2011), User Manual - Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments. Rotterdamseweg 185: Deltares, 674p.

Guo, Q., Jin, Y. (2002). Modeling nonuniform suspended sediment transport in alluvial rivers. Journal of Hydraulic Engineering, v.128, n.9, set.

Kantoush, S. A.; Bollaert, E.; Schleiss, A. J. (2008). Experimental and numerical modelling of sedimentation in a rectangular shallow basin. International Journal of Sediment Research, n.3, China.

Partheniades E. (1965). Erosion and deposition of cohesive soils. Journal of the Hydraulics Division Proceedings of the ASCE, Vol. 91, No. HY1, pp. 105–139.

Rijn V. L. C. (1993). *Principles of sediment transport in rivers, Estuaries and Coastal Seas*. Amsterdam. Aqua Publications.

Souza, L. B. S.; Venâncio, S. S., Alamy Filho, J. E., Villela, S. M., Schulz, H. E. (2005). Construção de uma armadilha de sedimentos em laboratório e análise do escoamento de água em seu interior com uso de velocimetria a laser. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16., Anais, João Pessoa, PB. pp.1-20.

Souza, L. B. S.; Villela, S. M.; Schulz, H. E. (2006). Simulação computacional do assoreamento em uma armadilha de sedimentos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre n. 4, Porto Alegre, RS.

Sloff, C. J., Jagers, H. R. A., Kitamura, Y. K. (2004). Study on the channel development in a wide reservoir. Proc. 2<sup>nd</sup> Intern. Conf. on Fluvial Hydraulics, River Flow, June 23-25, Napels, Italy, p.811-819.

Sun, J., Lin, B., & Yang, H. (2015). Development and application of a braided river model with non-uniform sediment transport. Advances in Water Resources, n. 10.1016/j.advwatres.2014.12.012.

Xie D., Gao S., Wang Z., Pan C. (2013). Numerical modeling of tidal currents, sediment transport and morphological evolution in Hangzhou Bay, China. International Journal of Sediment Research, Vol. 28, No. 3, pp. 316–328.

Wu, W., Rodi, W., Wenka, T. (2000). 3D numerical modeling of flow and sediment transport in open channels. Journal of Hydraulic Engineering, v.126, n.1, pp. 4-15, jan.